



Der energetische Erntefaktor einer Kompogasanlage

Wenn eine Biogasanlage für die Feststoffvergärung geplant wird, stellt sich die Frage nach dem energetischen Erntefaktor. Im Rahmen einer sehr detaillierten Ökobilanz (*Edelmann et al., 2001*) wurde für die Kompogasanlage Otelfingen unter anderem der energetische Aufwand zur Bereitstellung und zum späteren Abbruch der benötigten Infrastruktur bestimmt. Die totale Energiemenge, die im Lauf des Lebenszyklus der Anlage amortisiert werden muss, beläuft sich im Fall der Kompogasanlage Otelfingen mit einer Verarbeitungskapazität von 10'000 Jahrestonnen auf rund 6'200 GJ. Dieser Wert umfasst *sämtliche* Aufwendungen, welche bei Bau und Abbruch der Anlage auflaufen (d.h. es sind sämtliche Energieaufwendungen auf *Ebene der Primärenergie* ebenso eingeschlossen, wie Aufwendungen zum Bau und Entsorgung der Blockheizkraftwerke oder Energieaufwendungen zur Herstellung, Transport und Verarbeitung von Baumaterialien und Komponenten, etc.).

In Otelfingen sind zwei Blockheizkraftwerke im Einsatz, während bei neuen Anlagen oft das Gas aufbereitet und ins Gasnetz eingespeist werden soll. Der energetische Aufwand zur Herstellung eines grossen BHKW kann mit jenem der Gasaufbereitung gleichgesetzt werden; ein kleineres BHKW könnte den Strom und die Wärme zum Betrieb der Anlage liefern, sofern nicht aus ökonomischen Überlegungen auf die Stromproduktion verzichtet wird. Aus Sicht der Gasverwertung ist die Anlage Otelfingen mit einer neuen Anlage daher vergleichbar.

Die Anlage Otelfingen ist gegenüber heutigen Anlagen noch sehr aufwändig gebaut: Die Anlage steht insbesondere in einem festen Gebäude und es sind noch aufwändige Komponenten vorhanden, welche heute dank Vereinfachung weggelassen werden können. Heute wird nur noch eine Halle in Leichtbauweise erstellt, was gegenüber den festen Gebäudehüllen der älteren Anlagen sehr grosse Mengen an Baumaterial (insbesondere Beton und Armierungseisen) und damit einem entsprechend grossen Energieaufwand einspart. Man kann davon ausgehen, dass heute die graue Energie in der Infrastruktur nur noch rund halb so gross ist, wie bei älteren Anlagen (*Leisner, Kompogas; pers. Mitt.*). In Tabelle 1 ist daher in der linken Spalte bei den Infrastrukturaufwendungen der Energieaufwand von Otelfingen („alt“) und rechts der geschätzte von heutigen Anlagen („neu“) dargestellt.

Die Abschätzung des Erntefaktors an Hand der Infrastrukturwerte von Otelfingen ist daher möglich und zulässig. Es wurde dabei von folgenden Annahmen ausgegangen: Lebenszyklen gesamte Anlage (Bauteil): 25 Jahre; wobei berücksichtigt ist, dass mobile Maschinen nach 5 Jahren und stationäre Maschinen nach 10 Jahren ausgewechselt werden. Abbaumodell für biogene Abfälle, Abfallzusammensetzung, erzeugte Kompostmenge, Gaszusammensetzung und Energieinhalt, etc.: siehe *Edelmann et al., (2000)*.

Der Transport des Abfalls wird nicht berücksichtigt, da der Abfall auf jeden Fall transportiert werden muss. Im Fall der Verbrennung in der KVA ist zwar nur eine Einsammlung notwendig, sind aber die Transportdistanzen zur Anlage viel grösser, da Behandlungskapazität und Einzugsgebiet einer KVA deutlich grösser sind als jene einer Biogasanlage. Bei getrennter Einsammlung bleibt sich die totale Einsammelmenge gleich. Es geht länger, bis der Wagen im Quartier voll ist und die Anzahl Stopps in den Quartieren verdoppelt sich bei kürzeren Standzeiten, was – wie Erfahrungen in Zug und weiteren Regionen zeigen - durch seltenere und vor allem kürzere Fahrten zur Anlage in erster Näherung gerade etwa kompensiert wird.

Erntefaktor einer Kompogasanlage

Jahreskapazität: 10'000 t biogene Abfälle; weitere Annahmen vgl. Text.

	alt	Quelle	neu	Restholz
Energieaufwand	KWh/a		KWh/a	KWh/a
<i>Infrastruktur Aufbau und Abbruch:</i>				
Energetische Amortisation Anlage inkl. Gasaufbereitung und sämtliche Komponenten wie Biofilter, Betriebsgebäude etc.	68800	Edelmann, Schleiss: <i>Ökobilanz der Bewirtschaftung biogener Abfälle</i> ; Anlage Otelfingen	35000	35000
<i>Betriebsaufwand:</i>				
Elektrizitätsbedarf	199000	Planungsdaten	199000	199000
Lüftung Biofilter	153000	Planungsdaten	153000	153000
Gasaufbereitung	180000	Planungsdaten	180000	180000
Wärme Fermenter	940000	Berechnung mit Biogasprogramm	700000	Restholz
Heizung Nachrottehalle	230000	Planungsdaten		
Diesel für Fahrzeuge (1,8 l/t)	180000	Planungsdaten	180000	180000
Shredder für Aufbereitung (1,2 l/t)	120000	Planungsdaten	120000	120000
Aufwand total:	2070800		1567000	867000
Energieertrag				
Biogas	7200000	(Erfahrungswerte)	8750000	8750000
Erzeugung Makronährstoffe im Kompost	900000	Edelmann, Schleiss: <i>Ökobilanz</i>	900000	900000
Einsparung Torfr Transporte (Kohlenstoff)	500000		500000	500000
Ertrag total	8600000		10150000	10150000
Erntefaktor	4.2		6.5	11.7

Pay back 25 y				
Aufwand total	51770000		34675000	21675000
Ertrag/a	8600000		10150000	10150000
Jahre bis Energie netto erzeugt:	6		3.9	2.1

Transport: 30l Diesel/24t/100 km 1.25 l/t*100km

5000 t Kompost 800 km 50000 ohne Rückfahrt!

Tab. 1: Energetischer Erntefaktor einer Kompogasanlage (Erläuterungen: siehe Text)

Tabelle 1 fasst den energetischen Aufwand bzw. Ertrag einer Kompogasanlage zusammen. In der linken Spalte („alt“) werden zusätzlich zum Aufwand für die Infrastruktur auch bei der Wärme und beim Gasertrag ungünstigere Annahmen getroffen. In der Kolonne „Restholz“ wird davon ausgegangen, dass die Wärme für die Beheizung des Gärguts durch mit angeliefertem Strauchschnitt und verholztem Material erzeugt wird. Dies erlaubt, die gesamte Gasmenge in das Gasnetz einzuspeisen.

Im Fall einer neuen Anlage wird der jährliche Infrastrukturaufwand im Bereich von „best“ liegen – dies ist aber angesichts des kleinen Werts für das Gesamtergebnis nicht von entscheidender Bedeutung; der Löwenanteil des Aufwands liegt offensichtlich beim Betrieb.

Bei den Betriebsdaten wird vorwiegend auf die Planungsdaten einer heutigen Anlage abgestützt. Beim – stark zu Buche schlagenden - Wärmebedarf für die Fermenterheizung wurde der Heizaufwand mit der Biogas-Software gerechnet: Um 10'000 Tonnen von (teilweise sehr kalter) Aussentemperatur auf 57°C zu erwärmen sowie in einem Reaktor mit 700 m² Oberfläche und einem K-Wert von 0,4 W/m².°C über 24 Tage auf Temperatur zu halten, sind bei den monatlichen Durchschnittstemperaturen von Chur 674'000 kWh/a netto notwendig. Da die festen Abfälle einen schlechten Wärmeübergang aufweisen, wurden bei „worst“ etwas mehr als 30% Heizverluste angenommen. Bei einer Anlage, wo die Abfälle in einem Annahmehunker während rund 24 Stunden einen aeroben Vorrotteprozess durchmachen, wird durch die Selbsterwärmung der Heizaufwand spürbar kleiner, wobei die Biogasausbeute nicht negativ beeinflusst wird (*Edelmann et. al., 1986*). Wenn das Material nicht von Aussentemperatur aufgeheizt werden muss und wenn die Wärmeverluste minimiert werden, dürfte die angenommene Reduktion des Heizaufwandes durchaus möglich sein.

Der Energieertrag ist primär von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials sowie von verschiedenen verfahrenstechnischen Parametern (SRT, Rückimpfrate etc.) abhängig. Hier wurde mit Erfahrungswerten gerechnet, die einem normalen und einem guten Substrat entsprechen. (*vgl. auch Edelmann, Engeli, 2005*)

In der Kompogasanlage entsteht neben Biogas – auch energetisch wertvoller – Kompost. Dieser enthält einerseits anorganische Nährstoffe (Dünger) sowie schwer abbaubare Kohlenstoffverbindungen, welche für den Humusaufbau des Bodens wichtig sind. Wenn die biogenen Abfälle verbrannt werden (was auch angesichts des hohen Wassergehalts nicht sinnvoll ist), gehen die Nährstoffe in der Kehrichtschlacke verloren und müssen durch Mineraldünger ersetzt werden. Die Herstellung von Mineraldünger verursacht nicht nur zusätzliche Umweltbelastungen in verschiedenen Wirkungskategorien einer Ökobilanz, sondern erfordert auch rund 90 kWh für die Herstellung der Nährstoffmenge, welche in einer Tonne biogenen Abfalls steckt (N, P, Mg, K, Ca). (Die positive Wirkung von Spurenelementen sowie Phytopathogen-suppressiven Verbindungen im Kompost sind hier nicht berücksichtigt; die Berücksichtigung würde sich auf die Energiebilanz zusätzlich positiv auswirken).

In der Schweiz beträgt der Humusverlust durch die moderne Landwirtschaft (brach liegende Böden, Bodenverdichtung, Absenken des Grundwasserspiegels) jährlich rund eine Million Tonnen. Kompost kann – sofern die biogenen Abfälle konsequent in Kompost umgewandelt werden - mit seinen schwer abbaubaren Kohlenstoffverbindungen diesen Verlust gerade etwa kompensieren. Wenn die Kohlenstoffverbindungen fehlen, muss für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Böden Torf importiert werden. (Diese Politik ist natürlich für die Torf exportierenden Länder überhaupt nicht nachhaltig...!). Der in Tabelle 1 dargestellte Wert beruht auf der Annahme, dass Torf aus Norddeutschland importiert werde. Der Wert ist konservativ, weil er nicht auf Ebene der Primärenergie sowie ohne Berücksichtigung der grauen Energie (LKW's) und des Aufwands für den Torfabbau vor Ort abgeschätzt wurde. Zudem: Wenn beim Torfrtransport auf dem Rückweg Leerfahrten anfallen würden oder wenn der Torf z.B. aus Finnland stammt, würde der durch die Kompogasanlage eingesparte Energieaufwand zusätzlich entsprechend höher.

Neben den Umweltaspekten sprechen daher auch energetische Überlegungen – die in der Energiebilanz mit berücksichtigt werden müssen - stark für den Einsatz von Kompost als Dünger und Bodenverbesserer.

Der **energetische Erntefaktor einer heutigen Kompogasanlage** – d.h. des Verhältnisses zwischen produzierter Energie und gesamtem Energieaufwand - wird heute unter Berücksichtigung von in Tabelle 1 nicht berücksichtigten Grössen (z.B. Bereitstellung Mikronährstoffe, Einsparung Pestizide etc.) **bei rund 7 liegen**. Wenn mit angeliefertem Holz die Prozesswärme erzeugt und das Gas eingespeist wird, können Faktoren über 10 erreicht werden.

Nach **rund 3-4 Jahren** – bzw. bei Wärmegewinnung mit Restholz deutlich weniger - hat eine Anlage **sämtliche Energie für Infrastruktur und Betrieb** während der ganzen Lebensdauer von 25 Jahren **erzeugt** und produziert danach nur noch netto erneuerbare Energie.

Dies ist ein sehr guter Wert - wenngleich er möglicherweise etwas unter jenem von landwirtschaftlichen Biogasanlagen liegt. Dies ist aber weiter nicht erstaunlich, da an eine professionelle Anlage zusätzliche Anforderungen, wie Biofilter, fest / flüssig-Trennung, Nachrotte, etc., gestellt werden. Eine Landwirtschaftsanlage ist zudem ohne zusätzliche, energieaufwändige Komponenten nicht in der Lage, jene hygienisch bedenklichen Abfälle zu verwerten, die in einer Kompogasanlage problemlos behandelt werden können.

Wenn beim Betriebsaufwand durch zusätzliche Verbesserungen in der Logistik und vor allem beim Wärmebedarf weitere Einsparungen erzielt werden, sind energetische Erntefaktoren von gegen 10 durchaus realistisch. Allerdings sind dann jeweils in den einzelnen Fällen (z.B. beim Einsatz von Abluftwärmetauschern für die Luft der Komposthalle) auch die ökonomischen Aspekte in Betracht zu ziehen.

Es muss in diesem Zusammenhang zusätzlich festgehalten werden, dass die Feststoffvergärung in Kompogasanlagen – anders als die landwirtschaftliche Biogasgewinnung – neben einem guten Erntefaktor die signifikant beste Ökobilanz sämtlicher erneuerbarer (und natürlich auch nicht erneuerbarer) Energieträger aufweist (*Edelmann et al., 2001*) und dass auch gerade unter diesem Aspekt die Vergärung der biogenen Abfälle für eine nachhaltige Bewirtschaftung unserer Lebensgrundlage zwingend ist.

W. Edelmann, arbi GmbH
April 2005

Zitierte Literatur:

Edelmann W., Engeli H. (2005): More than 12 years of experience with the commercial anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid wastes in Switzerland, Key note lecture: Copenhagen, Congress: Anaerobic digestion of solid Waste ADSW2005, Aug. 31-Sept.3, 2005 Copenhagen.(in Vorbereitung)

EDELMANN W., SCHLEISS K, JOSS A., ILG M., STEIGER H. (2000): *Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung biogener Abfallstoffe*, Studie i.A. BFE und Buwal, Schriftenreihe BFE, Bern (2. Auflage 2001; 120 Seiten)

EDELMANN W., BESSON J.M., ENGELI H. (1986): *Erwärmung von Substrat für die anaerobe Gärung durch aerobe Vorbehandlung*, Phoenix International, 6/86, pp.26-30

EDELMANN W., SCHLEISS K., ENGELI H., BAIER U. (2001): *Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas*, Programm Biomasse, BFE, 3003 Bern